

Applied registration for robotics

Methodology and tools for ICP-like algorithms

Doctoral Thesis**Author(s):**

Pomerleau, François

Publication date:

2013

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009932416>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

DISS. ETH. NO 21159

APPLIED REGISTRATION FOR ROBOTICS
Methodology and Tools for ICP-like Algorithms

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

FRANÇOIS POMERLEAU

MSc Université de Sherbrooke, Electrical Engineering

born November 20, 1981

citizen of Canada

accepted on the recommendation of

Prof. Roland Y. Siegwart (ETH Zurich, Principal Advisor)

Dr. Mike Bosse (Senior Research Scientist, CSIRO, Australia, Member of the Jury)

2013

Abstract

Registration algorithms allow to associate two representations of a given environment in a same reference frame. Although algorithms for image registrations are very useful, we focused our effort toward geometric registration. It is usually the foundation of 2D and 3D mapping and an important competence for a mobile robot to have. Solutions were found 20 years ago, namely with the publication of the well-known Iterative Closest Point (ICP) algorithm, but the number of publications on the topic kept growing, even at a faster rate in the recent years. This situation underlies a stronger problem related to the methodology used in robotics.

The simplicity of the ICP makes it an attractive solution for researchers looking for an algorithm allowing them to test higher-level tasks (e.g., path planning, exploration, etc.). Naively implemented, its simplicity also lead to a number of flaws appearing when used in critical applications where an autonomous system needs to take decisions in an unknown environment. This explains why many variations of the original solution, adapted in multiple ways, are published every year. Specially in robotics, the number of possible adaptations becomes so large that it is hard to take clever decisions about which algorithm should be implemented on a robot.

We addressed this problematic by providing a more structured methodology to evaluate geometric registrations for robotic applications. To do so, we surveyed a large number of solutions published and we related them together in a unique framework. We reused this framework to design and implement a registration library to compare the performance of different solutions in different conditions. We structured an evaluation protocol around eight data sets recorded over a period of half a year, with ground truth positioning

ABSTRACT

precision in the order of millimeters. Those data sets cover a variety of environmental structures, as they were recorded indoors and outdoors and include multiple types of dynamic elements.

The computational performance of the proposed library was demonstrated by handling geometric registration in scenarios where real-time processing is needed. The evaluation of standard ICP solutions using our proposed methodology highlighted interesting and varying behaviors in different conditions. This allowed us to rapidly tune tailored registration algorithms for five robotic platforms. We used successfully those platforms as case studies covering mobile systems on ground, water and air, with different motion capabilities and sensors.

Keywords: Geometric Registration, Iterative Closest Point, ICP, 3D Mapping, Data Sets, Methodology, Laser Rangefinder, Robotics

Résumé

Les algorithmes de registration permettent d'associer deux représentations d'un environnement donné dans le même plan. Bien que les algorithmes de registration d'images soient très utiles, nos efforts se sont concentrés sur la registration géométrique. Ce type de registration constitue généralement les fondements de la cartographie 2D et 3D, et est l'une des compétences essentielles que doit posséder un robot mobile. Plusieurs solutions ont été trouvées depuis 20 ans, particulièrement suite à la publication du célèbre algorithme ICP, mais le nombre de publications continue toujours d'augmenter, voire même à un rythme accéléré ces dernières années. Cette situation sous-tend un problème plus grave, qui est relié à la méthodologie utilisée en robotique.

La simplicité de l'ICP en fait une solution attrayante pour les chercheurs désirant un algorithme qui leur permet de tester des tâches complexes (planification de chemins, exploration, etc.). Lorsque ingénument implémenté, sa simplicité peut aussi amener des failles qui peuvent apparaître dans une situation critique où le système autonome doit prendre des décisions dans un environnement inconnu. C'est pourquoi de nombreuses variations de la solution originale, adaptée de multiples façons, sont publiées chaque année. Spécialement en robotique, le nombre d'adaptations possibles est devenu si grand qu'il devient difficile de prendre des décisions éclairées au sujet de l'algorithme qui devrait être implémenté sur un robot.

Nous avons abordé cette problématique en fournissant une méthodologie davantage structurée afin d'évaluer la registration géométrique lors d'applications en robotique. Pour ce faire, nous avons passé en revue un grand nombre de solutions publiées, et nous les avons réunies dans un cadre unique. Nous avons réutilisé ce cadre pour concevoir et implémenter

une bibliothèque de registrations afin de comparer la performance de différentes solutions dans diverses conditions. Nous avons élaboré un protocole d'évaluation à partir de huit jeux de données qui furent enregistrés au cours d'une période de 6 mois, et ce, avec une précision de positionnement de l'ordre du millimètre lorsque comparé à la réalité de terrain. Ces jeux de données couvrent une variété de structures environnementales puisqu'ils ont été enregistrés tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, et incluent de multiples genres d'éléments dynamiques.

La performance informatique de la bibliothèque proposée a été démontrée lors du traitement de registrations géométriques dans des scénarios où le traitement en temps réel est nécessaire. L'évaluation de solutions standard de l'ICP avec notre méthodologie a mis en lumière des comportements intéressants et variés selon les différentes conditions. Cela nous a permis d'ajuster rapidement les algorithmes de registrations pour cinq plateformes robotisées. Nous avons utilisé avec succès ces plateformes comme études de cas couvrant des systèmes mobiles sur le sol, dans l'eau et dans l'air, et ayant différentes capacités de mouvements et possédant divers capteurs.

Mots-clés: Registration géométrique, *Iterative Closest Point* - Point rapproché itératif, ICP, Cartographie 3D, Jeux de données, Méthodologie, Télémètre à laser, Robotique